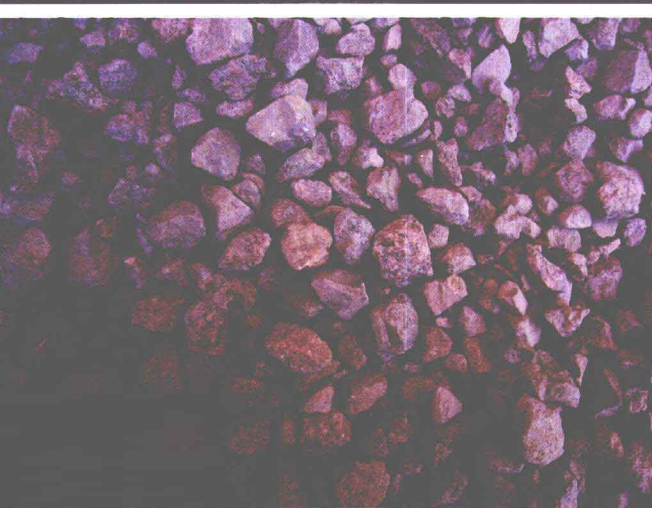


■ 李秋义 全洪珠 秦 原 著

# 混凝土再生骨料



中国建筑工业出版社

# 混凝土再生骨料

李秋义 全洪珠 秦 原 著

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 ( CIP ) 数据

混凝土再生骨料 / 李秋义, 全洪珠, 秦原著. — 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.11

ISBN 978-7-112-12722-1

I. ①混… II. ①李… ②全… ③秦… III. ①再生混凝土-骨料 IV. ①TU528.041

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 238379 号

责任编辑: 戚琳琳

责任设计: 董建平

责任校对: 姜小莲 赵 颖

混凝土再生骨料

李秋义 全洪珠 秦 原 著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

华鲁印联 (北京) 科贸有限公司制版

世界知识印刷厂印刷

\*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 11 1/4 字数: 280 千字

2011 年 2 月第一版 2011 年 2 月第一次印刷

定价: 29.00 元

ISBN 978-7-112-12722-1

(19984)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

# 前言

随着我国城镇化进程的发展,建筑垃圾排放量逐年增长,可再生组分比例也不断提高。然而,大部分建筑垃圾未经任何处理,被运往郊外或城市周边进行简单填埋或露天堆存,这不仅浪费了土地和资源,还污染了环境;另一方面,随着人口的日益增多,建筑业对砂石骨料的需求量不断增长。长期以来,由于砂石骨料来源广泛易得,价格低廉,被认为是取之不尽、用之不竭的原材料而被随意开采,从而导致资源枯竭、山体滑坡、河床改道,严重破坏了自然环境。生产和利用建筑垃圾再生骨料对于节约资源、保护环境和实现建筑业的可持续发展具有重要意义。

由废弃混凝土制备的骨料称为再生混凝土骨料(简称再生骨料)。仅仅通过简单破碎和筛分工艺制备的再生骨料颗粒棱角多、表面粗糙、组分中还含有硬化水泥砂浆,再加上混凝土块在破碎过程中因损伤累积在内部造成大量微裂纹,导致再生骨料自身的孔隙率大、吸水率大、堆积密度小、空隙率大、压碎指标高。这种再生骨料制备的再生混凝土用水量较大、硬化后的强度低、弹性模量低,而且抗渗性、抗冻性、抗碳化能力、收缩、徐变和抗氯离子渗透性等耐久性能均低于普通混凝土。由于废弃混凝土质量差异较大,通过简单工艺制备的再生骨料性能差异也较大,不便于再生骨料的推广应用。为了提高再生混凝土的性能,须对简单破碎获得的低品质再生骨料进行强化处理,即通过改善骨料粒形和除去再生骨料表面所附着的硬化水泥石,提高骨料的性能。强化后的再生骨料不仅性能显著提高,而且不同强度等级废混凝土制备的再生骨料性能差异也较小,有利于再生骨料的质量控制,便于再生混凝土的推广应用。

本书有关研究内容得到了科学技术部、住房和城乡建设部和青岛市科技局等部门的大力支持,在此表示衷心的感谢。获得资助的相关项目有:国家“十一五”科技支撑计划重点课题“建筑垃圾再生产品的研制开发”(2006BAJ02B05)、国家“十五”科技攻关项目子课题“再生集料及其配制新混凝土的研究”(2004BA809B0305)、国家“863”高技术研究发展计划下课题“高品质再生骨料性能和制备技术研究”(2009AA032301-0101)。住房和城乡建设部项目“蒸压粉煤灰垃圾砖的研制”(06-K7-43)和青岛市科技局项目“绿色环保生态砖的研制”。

本书分别介绍了废混凝土的循环利用情况、再生骨料制备技术、高品质再生骨料生产工艺、再生骨料的基本性能、再生骨料标准、再生骨料品质对混凝土性能的影响以及再生骨料混凝土应用。本书重点强调了再生骨料强化的必要性,给出了强化的方法,研究了强化的效果,对于提高再生骨料和再生混凝土质量,推动再生骨料产业化具有重要意义,可供从事固体废物研究开发、生产应用以及教学、培训和管理人员参考。

李秋义

2009年12月16日

# 目 录

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 第 1 章 废混凝土的循环利用 .....            | 1  |
| 1.1 建筑废弃物的现状和综合利用 .....          | 1  |
| 1.1.1 建筑废弃物的定义 .....             | 1  |
| 1.1.2 建筑废弃物的分类 .....             | 1  |
| 1.1.3 建筑废弃物的组成 .....             | 2  |
| 1.1.4 建筑废弃物的特性及对环境的影响 .....      | 4  |
| 1.1.5 建筑废弃物的综合利用现状 .....         | 5  |
| 1.2 废混凝土的来源与分类 .....             | 7  |
| 1.2.1 废混凝土的来源 .....              | 7  |
| 1.2.2 废混凝土的分类 .....              | 8  |
| 1.3 废混凝土再生利用 .....               | 9  |
| 1.3.1 国外废混凝土的再生利用状况 .....        | 10 |
| 1.3.2 国内废混凝土的回收利用状况 .....        | 11 |
| 参考文献 .....                       | 12 |
| 第 2 章 再生骨料制备技术 .....             | 14 |
| 2.1 概述 .....                     | 14 |
| 2.2 再生骨料的简单破碎工艺 .....            | 14 |
| 2.2.1 国外破碎工艺 .....               | 14 |
| 2.2.2 国内破碎工艺 .....               | 17 |
| 2.3 简单破碎再生骨料的特点及其强化的必要性 .....    | 18 |
| 2.3.1 简单破碎再生骨料的特点 .....          | 18 |
| 2.3.2 简单破碎再生骨料混凝土的性能 .....       | 18 |
| 2.3.3 再生骨料强化的必要性 .....           | 18 |
| 2.4 化学强化法简介 .....                | 18 |
| 2.4.1 用聚合物 (PVA) 和有机硅防水剂处理 ..... | 18 |
| 2.4.2 用水泥浆液处理 .....              | 19 |
| 2.5 物理强化法简介 .....                | 20 |
| 2.5.1 机械研磨强化法 .....              | 20 |
| 2.5.2 加热研磨法 .....                | 20 |



|                            |    |
|----------------------------|----|
| 2.5.3 颗粒整形强化法 .....        | 21 |
| 2.6 物理强化法对混凝土性能的改善 .....   | 22 |
| 2.6.1 物理强化对骨料性能的改善 .....   | 22 |
| 2.6.2 骨料粒形对混凝土的影响 .....    | 22 |
| 2.6.3 骨料界面对混凝土的影响 .....    | 25 |
| 2.6.4 物理强化对混凝土耐久性的改善 ..... | 25 |
| 2.7 再生骨料的分选 .....          | 25 |
| 2.7.1 筛分 .....             | 26 |
| 2.7.2 重力分选 .....           | 26 |
| 2.7.3 磁力分选 .....           | 28 |
| 参考文献 .....                 | 29 |

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第3章 高品质再生骨料生产工艺实例 ..... | 31 |
| 3.1 立式偏心装置研磨法 .....     | 31 |
| 3.2 卧式回转研磨法 .....       | 32 |
| 3.3 球磨研磨法 .....         | 34 |
| 3.4 棒磨研磨法 .....         | 36 |
| 3.5 加热研磨法 .....         | 37 |
| 3.6 颗粒整形法 .....         | 39 |
| 参考文献 .....              | 41 |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第4章 不同强化方法对再生骨料基本性能的影响 ..... | 42 |
| 4.1 简单破碎和颗粒整形的再生骨料性能 .....   | 42 |
| 4.1.1 再生粗骨料性能 .....          | 42 |
| 4.1.2 再生细骨料 .....            | 45 |
| 4.2 卧式偏心机械研磨的再生骨料性能 .....    | 48 |
| 4.2.1 混凝土来源及性能 .....         | 48 |
| 4.2.2 再生骨料的性能 .....          | 49 |
| 4.3 加热研磨的再生骨料性能 .....        | 51 |
| 4.3.1 混凝土来源及性能 .....         | 51 |
| 4.3.2 再生骨料的性能 .....          | 51 |
| 4.4 卧式回转机械研磨的再生骨料性能 .....    | 53 |
| 4.4.1 混凝土来源及性能 .....         | 53 |
| 4.4.2 再生骨料的性能 .....          | 54 |
| 参考文献 .....                   | 55 |

|                    |    |
|--------------------|----|
| 第5章 再生骨料标准简介 ..... | 57 |
| 5.1 国外相关标准简介 ..... | 57 |
| 5.1.1 日本 .....     | 57 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 5.1.2 荷兰 .....                | 58  |
| 5.1.3 英国 .....                | 59  |
| 5.1.4 丹麦 .....                | 59  |
| 5.1.5 德国 .....                | 60  |
| 5.1.6 欧洲其他国家 .....            | 60  |
| 5.1.7 韩国 .....                | 61  |
| 5.1.8 美国 .....                | 61  |
| 5.2 我国再生骨料标准简介 .....          | 61  |
| 5.3 我国再生粗骨料标准的制定 .....        | 62  |
| 5.3.1 范围 .....                | 62  |
| 5.3.2 新增定义和术语 .....           | 63  |
| 5.3.3 分类与规格 .....             | 63  |
| 5.3.4 技术指标的确定 .....           | 63  |
| 5.3.5 技术指标汇总 .....            | 77  |
| 5.4 我国再生细骨料标准的制定 .....        | 78  |
| 5.4.1 范围 .....                | 78  |
| 5.4.2 新增定义和术语 .....           | 78  |
| 5.4.3 分类与规格 .....             | 79  |
| 5.4.4 技术要求 .....              | 79  |
| 5.4.5 技术指标汇总 .....            | 93  |
| 5.5 再生胶砂需水量比的研究 .....         | 94  |
| 5.5.1 水泥品种对需水量比的影响 .....      | 95  |
| 5.5.2 再生细骨料细度模数对需水量比的影响 ..... | 96  |
| 5.5.3 胶砂需水量的意义 .....          | 99  |
| 5.6 再生胶砂强度比的研究 .....          | 100 |
| 5.6.1 水泥品种对强度比的影响 .....       | 100 |
| 5.6.2 再生细骨料细度模数对强度比的影响 .....  | 102 |
| 参考文献 .....                    | 104 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第 6 章 再生骨料对混凝土性能的影响 ..... | 106 |
| 6.1 原材料与试验设计 .....        | 106 |
| 6.1.1 原材料 .....           | 106 |
| 6.1.2 试验方案 .....          | 107 |
| 6.1.3 研究内容 .....          | 107 |
| 6.2 工作性 .....             | 107 |
| 6.2.1 再生粗骨料对工作性的影响 .....  | 108 |
| 6.2.2 再生细骨料对工作性的影响 .....  | 108 |
| 6.3 抗压强度 .....            | 108 |
| 6.3.1 再生粗骨料对抗压强度的影响 ..... | 108 |

|        |                  |     |
|--------|------------------|-----|
| 6.3.2  | 再生细骨料对抗压强度的影响    | 109 |
| 6.4    | 劈裂抗拉强度           | 110 |
| 6.4.1  | 再生粗骨料对劈裂抗拉强度的影响  | 110 |
| 6.4.2  | 再生细骨料对劈裂抗拉强度的影响  | 111 |
| 6.5    | 抗折强度             | 112 |
| 6.5.1  | 再生粗骨料对抗折强度的影响    | 112 |
| 6.5.2  | 再生细骨料对抗折强度的影响    | 112 |
| 6.6    | 收缩性能             | 113 |
| 6.6.1  | 再生粗骨料对收缩性能的影响    | 113 |
| 6.6.2  | 再生细骨料对收缩性能的影响    | 114 |
| 6.7    | 抗碳化性能            | 115 |
| 6.7.1  | 再生粗骨料对抗碳化性能的影响   | 115 |
| 6.7.2  | 再生细骨料对抗碳化性能的影响   | 116 |
| 6.8    | 抗冻性能             | 117 |
| 6.8.1  | 再生粗骨料对抗冻性能的影响    | 118 |
| 6.8.2  | 再生细骨料对抗冻性能的影响    | 118 |
| 6.9    | 抗渗透性能            | 120 |
| 6.9.1  | 试验方法简介           | 120 |
| 6.9.2  | 再生粗骨料对抗渗透性能的影响   | 123 |
| 6.9.3  | 再生细骨料对抗渗透性能的影响   | 123 |
| 6.10   | 粉煤灰掺量对再生混凝土的影响   | 123 |
| 6.10.1 | 试验方案和研究内容        | 123 |
| 6.10.2 | 工作性              | 124 |
| 6.10.3 | 抗压强度             | 125 |
| 6.10.4 | 劈裂抗拉强度           | 127 |
| 6.10.5 | 抗折强度             | 128 |
| 6.10.6 | 收缩性能             | 130 |
| 6.10.7 | 抗碳化性能            | 131 |
| 6.10.8 | 抗渗透性能            | 135 |
|        | 参考文献             | 136 |
| 第 7 章  | 再生骨料混凝土应用简介      | 137 |
| 7.1    | 再生骨料混凝土在道路工程中的应用 | 137 |
| 7.1.1  | 西安市某 I 级公路       | 137 |
| 7.1.2  | 开兰路和国道 310 线     | 137 |
| 7.1.3  | 上海市某城郊公路         | 138 |
| 7.2    | 再生骨料混凝土在建筑工程中的应用 | 138 |
| 7.2.1  | 青岛海逸景园 6 井工程     | 138 |
| 7.2.2  | 青岛宜昌馨园工程         | 140 |



|            |                              |     |
|------------|------------------------------|-----|
| 7.2.3      | 北京建筑工程学院土木与交通学院试验 6 号楼 ..... | 142 |
| 7.2.4      | 北京昌平亭子庄污水处理池工程 .....         | 143 |
| 7.2.5      | 北京昌平十三陵新农村建设示范工程 .....       | 144 |
| 7.2.6      | “沪上·生态家”工程 .....             | 144 |
| 7.2.7      | 香港湿地公园 .....                 | 145 |
| 7.3        | 日本再生骨料的应用实例 .....            | 145 |
| 7.3.1      | 东京平和岛 A-1 栋仓库工程 .....        | 145 |
| 7.3.2      | 东京牟礼团地第 1 住宅楼礼堂工程 .....      | 152 |
| 参考文献 ..... |                              | 156 |
| 附录一 .....  |                              | 157 |
| 附录二 .....  |                              | 164 |

# 第1章 废混凝土的循环利用

## 1.1 建筑废弃物的现状和综合利用

### 1.1.1 建筑废弃物的定义

根据我国《城市建筑垃圾和工程渣土管理规定（修订稿）》的规定，建筑废弃物（即建筑垃圾）是指建设、施工单位或个人对各类建筑物、构筑物等进行建设、拆迁、修缮及居民装饰房屋过程中所产生的余泥、余渣、泥浆及其他废弃物。建筑废弃物是城市垃圾的主要组成部分。据统计，世界多数国家的建筑物拆除垃圾和建筑施工垃圾的数量，约占城市垃圾总量的30%~40%<sup>[1-1]</sup>。

### 1.1.2 建筑废弃物的分类

按照来源分类，建筑废弃物可分为土地开挖、道路开挖、旧建筑物拆除、建筑施工和建材生产垃圾五类，主要由土、渣土、砂浆、混凝土、砖石、金属、沥青、竹木材、装饰装修材料和其他废弃物等组成。

#### 1. 土地开挖垃圾

分为表层土和深层土。前者可用于种植，后者主要用于回填、造景等。

#### 2. 道路开挖垃圾

道路改扩建产生的施工垃圾，主要包括废混凝土块、沥青混凝土块等。

#### 3. 建筑物拆除垃圾

主要分为砖、瓦、石材、混凝土、砂浆、木材、塑料、屋面材料、金属材料等，数量巨大。

#### 4. 建筑施工垃圾

施工过程中产生的各种废料，主要包括碎砖、混凝土、砂浆、桩头、包装材料等。

#### 5. 建材生产垃圾

主要是指为生产各种建筑材料所产生的废料、废渣，也包括建材成品在加工和搬运过程中所产生的碎块、碎片等。以混凝土生产为例，平均每生产100m<sup>3</sup>的混凝土，约产生1~1.5m<sup>3</sup>的废混凝土。

1.1.3 建筑废弃物的组成

建筑废弃物中土地开挖垃圾、道路开挖垃圾和建材生产垃圾，一般成分比较单一，其再生利用或处置也比较容易，本书只讨论建筑施工垃圾和建筑物拆除垃圾。

建筑施工垃圾和建筑物拆除垃圾大多为固体废弃物，其组成成分相差较大，表1-1为中国香港特别行政区的建筑物拆除垃圾和建筑施工垃圾组成比较。<sup>[1-2]</sup>

建筑物拆除垃圾和建筑施工垃圾组成（%）表 1-1

| 成 分    | 建筑物拆除垃圾 | 建筑施工垃圾 |
|--------|---------|--------|
| 沥青     | 1.61    | 0.13   |
| 混凝土    | 54.21   | 18.42  |
| 石块、碎石  | 11.78   | 23.87  |
| 泥土、灰尘  | 11.91   | 30.55  |
| 砖块     | 6.33    | 2.00   |
| 砂      | 1.44    | 1.70   |
| 玻璃     | 0.20    | 0.56   |
| 金属（含铁） | 3.41    | 4.36   |
| 塑料管    | 0.61    | 1.13   |
| 竹、木料   | 7.46    | 10.95  |
| 其他有机物  | 1.30    | 3.05   |
| 其他杂物   | 0.11    | 0.27   |
| 合计     | 100     | 100    |

表1-2列出了不同结构形式的建筑物产生的施工垃圾组成比例和单位建筑面积产生垃圾量。<sup>[1-2]</sup>其中，碎砖、混凝土、砂浆、桩头、包装材料等约占建筑施工垃圾总量的80%。

建筑施工垃圾的组成比例（%）表 1-2

| 垃圾组成    | 施工垃圾组成比例 |       |         | 占材料购买量的比例 |
|---------|----------|-------|---------|-----------|
|         | 砖混结构     | 框架结构  | 框架剪力墙结构 |           |
| 碎砖（碎砌块） | 30~50    | 15~30 | 10~20   | 3~12      |
| 砂浆      | 8~15     | 10~20 | 10~20   | 5~10      |
| 混凝土     | 3~15     | 15~30 | 16~35   | 1~4       |
| 桩头      | —        | 8~15  | 8~20    | 5~15      |
| 包装材料    | 5~15     | 5~20  | 10~20   | —         |
| 钢材      | 1~5      | 2~8   | 2~8     | 2~8       |
| 木材      | 1~5      | 1~5   | 1~5     | 5~8       |
| 屋面材料    | 2~5      | 2~5   | 2~5     | 3~8       |

续表

| 垃圾组成                               | 施工垃圾组成比例 |        |         | 占材料购买量的比例 |
|------------------------------------|----------|--------|---------|-----------|
|                                    | 砖混结构     | 框架结构   | 框架剪力墙结构 |           |
| 其他                                 | 10~20    | 10~20  | 10~20   | —         |
| 单位建筑面积产生施工垃圾量 (kg/m <sup>2</sup> ) | 50~200   | 45~150 | 40~150  | —         |

不同结构形式的建筑物产生的建筑废弃物差异较大<sup>[1-3]</sup>，我国建筑废弃物主要包括以下几种：

- (1) 砌体结构建筑物拆除后形成的建筑废弃物主要由砖块、砂浆、预制（现浇）钢筋混凝土楼板等组成<sup>[1-4]</sup>，图 1-1 所示为民用建筑垃圾。
- (2) 混凝土结构建筑物拆除后形成的建筑废弃物主要由钢筋混凝土块、砌块（砖）等组成，图 1-2 所示为废弃的工业建筑垃圾以及高层民用建筑垃圾。
- (3) 建筑物基础部分拆除后形成的建筑废弃物根据建筑物地下结构形式而定，往往含有大量毛石，见图 1-3。



图 1-1 砌体结构拆除物



图 1-2 混凝土结构拆除物



图 1-3 地下结构拆除物



图 1-4 未及时回收的建筑垃圾

建筑物拆除后，应尽早对建筑垃圾进行分类回收，防止建筑垃圾长时间堆放后，混杂过多的泥土、杂物（图 1-4），给分选工作带来困难，降低再生骨料的品质。美国<sup>[1-5]</sup>和我国香港<sup>[1-6]</sup>的建筑物拆除垃圾的组成见图 1-5，我国内地的建筑物拆除垃圾的组成见图 1-6，

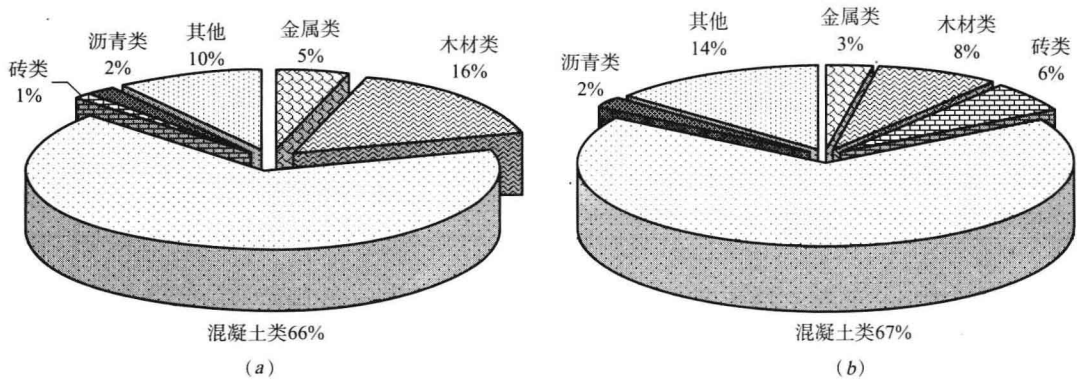


图 1-5 美国和中国香港的建筑物拆除垃圾的组成

(a) 美国；(b) 中国香港

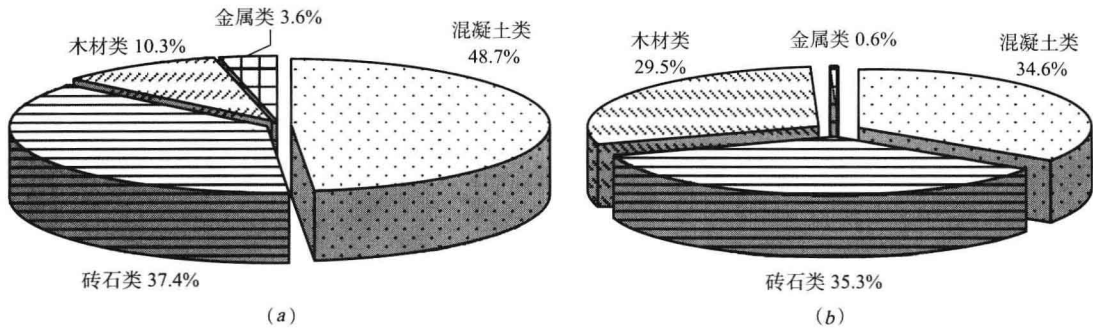


图 1-6 我国内地的建筑物拆除垃圾的组成

(a) 按重量计；(b) 按体积计

大多数建筑物拆除垃圾，可以作为再生资源循环利用。在进行建筑垃圾的回收利用时，应注意建筑垃圾的选取。

#### 1.1.4 建筑废弃物的特性及对环境的影响

##### 1. 建筑废弃物的特性

建筑废弃物具有鲜明的时间性、空间性和持久危害性。

###### 1) 时间性

任何建筑都有一定的使用年限，随着时间的推移，所有建筑物最终都会成为建筑废弃物。而所谓“垃圾”仅仅是相对于当时的科学水平和经济条件而言的，随着时间的推移和科学技术的进步，除少量有毒有害成分外，所有的建筑废弃物都可能转化为有用资源。

###### 2) 空间性

从空间角度看，某一种建筑废弃物不能作为建筑材料直接利用，但可以作为生产其他建筑材料的原料而被利用。

###### 3) 持久危害性

建筑废弃物主要为渣土、碎石块、废砂浆、砖瓦碎块、混凝土块、沥青块、废塑料、废金属、废竹木等的混合物，如不作任何处理直接运往堆场堆放，一般需要经过数十年才

可趋于稳定。即使建筑废弃物已达到稳定化程度,大量的无机物仍然会停留在堆放处,占用大量土地,并继续导致持久的环境问题。

## 2. 建筑废弃物对环境的影响

数量巨大、种类繁多的建筑废弃物对环境的影响途径多、污染形式复杂。建筑废弃物可直接或间接污染环境。环境一旦受污染,再修复就需要复杂的技术和大量的资金,并且无法完全复原。

建筑废弃物对环境的危害主要表现在以下几个方面:侵占土地,污染水体、大气和土壤,影响市容和环境卫生等。

### 1) 侵占土地

目前我国绝大部分建筑废弃物未经处理而直接运往城镇郊区堆放,占用了大量的生产用地,如不及时有效地处理和利用,建筑废弃物侵占土地的问题会变得更加严重。<sup>[1-7]</sup>

### 2) 污染水体

建筑废弃物在堆放场经雨水作用后,废砂浆和混凝土块中含有的大量水化硅酸钙和氢氧化钙、废石膏中含有的大量硫酸根离子、废金属料中含有的大量重金属离子溶出,同时废纸板和废木材自身发生厌氧降解产生木质素和单宁酸并分解生成有机酸,这样产生的渗滤水一般为强碱性并且含有大量的重金属离子、硫化氢以及一定量的有机物,会导致地表和地下水污染,直接影响生物生存和水资源利用。

### 3) 污染大气

建筑废弃物中的废石膏中含有大量硫酸根离子,在厌氧条件下会转化为具有臭鸡蛋气味的硫化氢,废纸板和废木材在厌氧条件下可溶出木质素和单宁酸并分解生成挥发性有机酸,这些有害气体排放到空气中就会污染大气。

### 4) 污染土壤

建筑废弃物及其渗滤水所含的有害物质会影响植物营养吸收和生长;影响土壤中微生物的活动,破坏土壤内部的生态平衡;有害物质在土壤中发生积累,致使土壤中有有害物质超标,妨碍植物生长,严重时甚至导致植物死亡;有害物质还会通过植物吸收,转移到果实体内,通过食物链影响人体健康和饲喂的动物;此外,建筑废弃物携带的病菌还会传播疾病,造成生物污染等。

### 5) 危害健康

有害物质经由自然界的生态链,通过水、动植物、粮食、蔬菜、水果、各种药物、生活用品等缓慢地转移到人体上来,严重影响人的体质和健康。

### 6) 影响市容和环境卫生

目前我国建筑废弃物的综合利用率低,许多地区建筑垃圾未经任何处理,便被施工单位运往郊外或乡村,采用露天堆放或简易填埋的方式进行处理,而且建筑垃圾运输大多采用非封闭式运输车,不可避免地引起运输过程中的垃圾遗撒、粉尘和灰砂飞扬等问题,严重影响市容和环境卫生。<sup>[1-8]</sup>

## 1.1.5 建筑废弃物的综合利用现状

### 1. 国外建筑废弃物综合利用状况

随着环保意识的加强,世界各国都在加强建筑废弃物再生利用的技术研究<sup>[1-9]</sup>,发展了



许多回收建筑废弃物用作建筑材料的技术。有的国家已制定了相应的技术规范，得到了推广应用。将大批量的建筑废弃物作为建筑原料，经过一系列的特殊工艺处理后重新用到建设中去，这种再利用处理不仅有利于节约自然资源，而且能够解决日益增长的垃圾处理危机，具有显著的社会效益、经济效益和环保效益，对城市的可持续发展具有非常深远的意义。<sup>[1-10]</sup>

对于建筑废弃物处理技术的研究，工业发达国家如日本、美国、德国等凭借经济实力与科技优势，采用高新技术处理建筑废弃物，给我们提供了许多先进经验。

日本由于天然资源相对匮乏，因而十分重视建筑废弃物的再资源化和有效利用，多年来将建筑废弃物视为“建筑副产品”。日本对建筑废弃物处理技术的研究始于20世纪70年代，并相继在各地建立了以处理混凝土废弃物为主的再生加工厂，其生产规模最大的每小时可加工生产100t。1996年日本政府推出了《资源再生法》，为废混凝土等建筑废弃物的再生利用提供了法律和制度保障，其中规定建筑施工过程中产生的渣土、混凝土块、沥青混凝土块、木材、金属等建筑废弃物，必须送往“再资源化设施”进行处理。日本对于建筑废弃物的主导方针是：①尽可能不从施工现场排出建筑垃圾；②建筑垃圾要尽可能地重新利用；③对于重新利用有困难的则应适当予以处理。据统计，2005年日本全国建筑废物资源总利用率达到85%。<sup>[1-11]</sup>

美国是较早提出环境标志制度的国家，采用微波技术处理回收的沥青路面，利用率达100%，成本降低且质量相同，既节约了清运和处理费用，又显著地减轻了环境污染。美国政府制定的《超级基金法》规定：“任何生产有工业废弃物的企业，必须自行妥善处理，不得擅自随意倾卸”。在建筑废弃物形成之前，就通过科学管理和有效的控制措施将其减量化。美国住宅营造商协会正在推广一种“资源保护屋”，其墙壁是用回收的轮胎和铝合金废料建成的，屋架所用的大部分钢料是从建筑工地上回收来的，所用的板材是锯末和碎木料加上20%的聚乙烯制成，屋面的主要原料是旧的报纸和纸板箱。这种住宅不仅积极利用了废弃的金属、木料、纸板，而且比较好地解决了住房紧张和环境保护之间的矛盾。美国1996年全国建筑废物资源利用率为20%~30%。<sup>[1-12]</sup>

德国是较早开始对建筑废弃物进行再生利用研究的国家之一。第二次世界大战之后，德国已经有了将废砖破碎后作为混凝土材料使用的经验。德国政府将建筑废弃物分成碎旧建筑材料、道路开挖和建筑施工工地垃圾，1987~1995年各类建筑垃圾的再利用情况见表1-3。<sup>[1-12]</sup>德国联邦环境基金会总部的建筑就是用了由废混凝土制成的再生骨料。德国西门子公司开发的干馏燃烧垃圾处理工艺，可将垃圾中的各种可再生材料十分干净地分离出来，再回收利用，对于处理过程中产生的燃气则用于发电，垃圾经干馏燃烧处理后有害重金属物质只剩下2~3kg/t，有效地解决了垃圾占用大片耕地的问题。处理后的碎旧建筑材料主要用作道路路基、垃圾填埋场、人造风景和种植等。

德国1987~1995年各类建筑废弃物的再生率(%) 表 1-3

| 年份<br>垃圾类别 | 1987年 | 1989年 | 1991年 | 1993年 | 1995年 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 碎旧建筑材料     | 20    | 17    | 39    | 62    | 60    |
| 建筑施工工地垃圾   | 0     | 0     | 0     | 27    | 40    |
| 道路开挖垃圾     | 69    | 55    | 83    | 87    | 90    |

总体来讲, 这些国家大多施行的是“建筑废弃物源头削减策略”, 即在建筑废弃物形成之前, 就通过科学管理和有效的控制措施将其减量化; 对于产生的建筑废弃物则采用科学手段, 使其具有再生资源的功能。

## 2. 国内建筑废弃物综合利用状况

过去, 受资源、观念、政策法规影响, 对于建筑废弃物的利用问题在我国没有引起足够重视。多年来, 没有从根本上堵住建筑废弃物的产生源头, 也没有涉及建筑废弃物的再生利用问题。

近年来, 我国十分重视建筑废弃物及再生骨料的研究及应用, 先后推出了《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(1995年)、《城市生活垃圾处理法》(1995年)、《城市垃圾产生源分类及垃圾排放》(CJ/T 3033—1996)、《城市建筑垃圾管理规定》(2005年)、《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》(2006年)、《载体桩设计规程》(JGJ 135—2007)、《建筑垃圾处理技术规范》(2009年已报批)、《混凝土和砂浆用再生细骨料》(2009年已报批)、《混凝土用再生粗骨料》(2009年已报批)等。我国建筑垃圾再生应用已具备较好基础。

总的说来, 目前我国建筑废弃物的现状大体可归结为以下三点。

### 1) 建筑垃圾增长迅速

近十年来, 由于城市建设速度的加快, 新旧城区的更替, 因拆除或者改建而产生的建筑废弃物急剧增加。

### 2) 占用大量土地资源, 处理费用高

建筑废弃物传统的掩埋处理方法不但需要占用大量的土地资源, 而且还会耗费很大一部分的建设经费。

### 3) 再生资源浪费较大

建筑废弃物中的许多废弃物经分拣、剔除或粉碎后, 大多是可以作为再生资源重新利用的, 我国对于建筑废弃物处理的传统方法是将建筑垃圾进行简易掩埋, 因此许多可以重新利用的资源被白白地浪费了。

## 1.2 废混凝土的来源与分类

如上所述, 建筑废弃物成分复杂, 但其中废混凝土块、碎砖块等所占的比例最高<sup>[1-13]</sup>, 可以作为再生骨料等进行资源化利用。将废混凝土块经过处理加工成再生骨料, 既能解决天然骨料资源缺乏的问题<sup>[1-14~1-16]</sup>, 保护骨料产地的生态环境, 又能解决城市废弃物的堆放、占地和环境污染等问题, 实现混凝土生产过程中的物质循环利用, 保证建筑工业的可持续发展。

### 1.2.1 废混凝土的来源

废混凝土是指建筑物拆除、路面返修、混凝土生产、工程施工或其他状况下产生的废混凝土块。废混凝土的来源渠道广泛<sup>[1-17]</sup>, 目前废混凝土的主要来源有:

(1) 混凝土建筑物由于使用年限期满或者老化被拆毁, 产生废混凝土块, 这是废混凝土的主要来源之一。表1-4给出了目前我国由于旧建筑物拆除产生的各种建筑垃圾调查结果。其中, 旧建筑物拆除产生的废混凝土数量非常大。<sup>[1-2]</sup>

旧建筑拆除产生的建筑废物量 ( m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> )

表 1-4

| 结 构   | 功 能 | 钢 筋                 | 混 凝 土                | 砖                    | 玻 璃                 | 木 材                 | 合 计                |
|-------|-----|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 混凝土结构 | 住宅  | 0.0117<br>( 1.64% ) | 0.6010<br>( 84.15% ) | 0.0705<br>( 9.87% )  | 0.0008<br>( 0.11% ) | 0.03<br>( 4.20% )   | 0.7142<br>( 100% ) |
|       | 工厂  | 0.0114<br>( 1.79% ) | 0.5360<br>( 83.70% ) | 0.0585<br>( 9.13% )  | 0.0009<br>( 0.14% ) | 0.03<br>( 4.68% )   | 0.6404<br>( 100% ) |
|       | 办公楼 | 0.0159<br>( 2.15% ) | 0.6360<br>( 85.97% ) | 0.0571<br>( 7.72% )  | 0.0006<br>( 0.08% ) | 0.03<br>( 4.59% )   | 0.7398<br>( 100% ) |
|       | 学校  | 0.0135<br>( 1.66% ) | 0.6670<br>( 81.89% ) | 0.1029<br>( 12.63% ) | 0.0008<br>( 0.10% ) | 0.03<br>( 3.68% )   | 0.8145<br>( 100% ) |
|       | 平均  | 0.0132<br>( 1.81% ) | 0.6100<br>( 83.86% ) | 0.0723<br>( 9.94% )  | 0.0008<br>( 0.11% ) | 0.03<br>( 4.13% )   | 0.7274<br>( 100% ) |
| 钢结构   |     | 0.0210<br>( 6.47% ) | 0.2107<br>( 64.89% ) | 0.0585<br>( 18.01% ) | 0.0009<br>( 0.28% ) | 0.03<br>( 9.24% )   | 0.3247<br>( 100% ) |
| 砖结构   |     | 0.0000<br>( 0.00% ) | 0.0000<br>( 0.00% )  | 0.4800<br>( 70.49% ) | 0.0008<br>( 0.11% ) | 0.20<br>( 29.37% )  | 0.6810<br>( 100% ) |
| 砖混结构  |     | 0.0027<br>( 0.26% ) | 0.3200<br>( 30.66% ) | 0.4000<br>( 38.32% ) | 0.0008<br>( 0.08% ) | 0.32<br>( 30.66% )  | 1.0437<br>( 100% ) |
| 木结构   |     | 0.0000<br>( 0.00% ) | 0.0000<br>( 0.00% )  | 0.0500<br>( 5.88% )  | 0.0008<br>( 0.09% ) | 0.80<br>( 94.01% )  | 0.8510<br>( 100% ) |
| 其他    |     | 0.0074<br>( 1.02% ) | 0.2281<br>( 31.44% ) | 0.2122<br>( 29.24% ) | 0.0008<br>( 0.11% ) | 0.276<br>( 38.04% ) | 0.7256<br>( 100% ) |

(2) 市政工程的动迁以及重大基础设施的新建或改造, 例如道路路面和机场跑道维修或更换, 这部分废混凝土数量通常也比较大。

(3) 商品混凝土厂和预制构件厂的不合格产品或因其他原因产生的不能加以使用的混凝土。

(4) 新建建筑结构物施工和装修过程中的散落混凝土。在施工过程中, 不可避免地会散落大量的混凝土, 且其数量通常也比较大。

(5) 施工单位试验室和科研机构测试完毕的混凝土试块或者构件, 这部分废混凝土数量相对较少。

(6) 地震、风灾和火灾等自然灾害及战争等人为因素造成建筑物倒塌而产生的废混凝土。2008年5月, 震惊世界的汶川大地震造成大量建筑倒塌, 根据当地有关部门统计, 四川省地震灾区已经形成的和因房屋受损可能拆除、废墟清理等即将形成的建筑废弃物总量约5.72亿t(图1-7), 其中可资源化利用的废弃物共计约5.47亿t(表1-5)。5亿多t建筑废弃物堆放占用土地的总面积将达到7.5万亩, 将严重污染环境。与此同时, 四川省地震灾区房屋垮塌损毁后需要重建的建筑面积超过2.7亿m<sup>2</sup>, 需要大量建筑材料及制品。

### 1.2.2 废混凝土的分类

基于对废混凝土回收利用经济性与再生骨料性能要求的考虑, 可将废混凝土分为两